

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁶ : H04B 10/18		A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 98/35459 (43) Date de publication internationale: 13 août 1998 (13.08.98)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/00258</p> <p>(22) Date de dépôt international: 10 février 1998 (10.02.98)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 97/01476 10 février 1997 (10.02.97) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): ALCATEL ALSTHOM COMPAGNIE GENERALE D'ELECTRICITE [FR/FR]; 54, rue La Boétie, F-75008 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et</p> <p>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): DESURVIRE, Emmanuel [FR/FR]; 32, rue de la Butte du Prieur, F-91680 Bruyère le Chatel (FR). HAMAIDE, Jean-Pierre [BE/FR]; 46 bis, rue Docteur Babin, F-91180 Saint-Germain-les-Arpajon (FR).</p> <p>(74) Mandataires: LAMOUREUX, Bernard etc.; Alcatel Alsthom Recherche DPI, 30, avenue Kléber, F-75016 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale. Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</p> <p>F 102 078 RR 1</p>	
<p>(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ON-LINE REGENERATION OF A SIGNAL TRANSMITTED BY WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXED SOLITONS AND OPTICAL TELECOMMUNICATION SYSTEM COMPRISING SUCH A REGENERATING DEVICE</p> <p>(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF DE REGENERATION EN LIGNE D'UN SIGNAL TRANSMIS PAR SOLITONS MULTIPLEXES EN LONGUEUR D'ONDE ET SYSTEME DE TELECOMMUNICATIONS OPTIQUES COMPRENANT UN TEL DISPOSITIF DE REGENERATION</p>			
<p>(57) Abstract</p> <p>The invention concerns the synchronous regeneration of wavelength division multiplexed (WDM) solitons carried on an optical fibre. It consists in using lines with optical retardation, in particular light-refracting filters, upstream of the regenerators for the re-synchronisation of a subset of m soliton channels and in placing the regenerator in a position where the $n-m$ soliton channels are naturally synchronised.</p> <p>(57) Abrégé</p> <p>L'invention permet la régénération synchrone de solitons multiplexés en longueur d'onde (WDM) et véhiculés sur une fibre optique. Elle consiste à utiliser des lignes à retard optique, notamment de type filtres photoréfractifs, avant les régénérateurs pour resynchroniser un sous-ensemble de m canaux solitons et à placer le régénérateur à une position où les $n-m$ autres canaux solitons sont naturellement synchronisés.</p>			

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Liberia	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE ET DISPOSITIF DE REGENERATION EN LIGNE D'UN SIGNAL
TRANSMIS PAR SOLITONS MULTIPLEXES EN LONGUEUR D'ONDE ET
SYSTEME DE TELECOMMUNICATIONS OPTIQUES COMPRENANT UN TEL
DISPOSITIF DE REGENERATION

L'invention concerne le domaine de télécommunications sur fibre optique, et plus particulièrement des télécommunications sur des longues distances. Il est connu, 5 pour des liaisons très longues distances à fibre optique, tel que des liaisons transocéaniques, d'utiliser un signal de type dit "soliton" ayant des propriétés spectrales particulières qui permettent au signal de se propager sur la fibre dispersive sans dispersion chromatique appréciable, 10 c'est-à-dire que l'on utilise la dépendance de l'indice de réfraction sur l'intensité du signal pour contrebalancer la dispersion chromatique ou vice-versa. La forme spectrale du signal est préservée malgré les effets de la distance de propagation, qui se résument ainsi principalement à des 15 pertes de ligne. Ces pertes de ligne peuvent être compensées par une amplification optique en ligne, par exemple à l'aide d'un amplificateur à fibre dopée Erbium, ou "EDFA" en anglais.

Pour la transmission par solitons avec amplification 20 en ligne (EDFA) les problèmes qui restent à résoudre sont connus :

- 1) la gigue Gordon-Haus qui cause une incertitude temporelle de l'arrivée des bits du signal ;
- 2) l'accumulation de bruit provenant de 25 l'amplification de l'émission spontanée dans les amplificateurs optiques.

Une solution à ce problème est avancée dans EP-A-576 208. Selon ce document, l'insertion d'une pluralité de filtres dont la fréquence centrale varie le long d'une 30 liaison de transmission de signaux de type soliton, permet l'amplification périodique des solitons sans l'amplification exponentielle du bruit d'émission spontanée. Il n'y a pas de régénération des solitons dans ce système. Selon ce

FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

document, un avantage d'un tel système est sa compatibilité avec des transmissions multi-longueur d'ondes (WDM en anglais).

5 La modulation synchrone pour la régénération de solitons en ligne est décrite dans le document Elect. Lett., 27(14), p. 1270-72, 4 July 1991, Nakazawa et al. : "10 Gbit/s Soliton Data Transmission over One Million Kilometres".

10 Ce document enseigne l'utilisation d'un modulateur optique en LiNO_3 pour effectuer la modulation synchrone des solitons, avec un signal d'horloge engendré à partir de la même horloge que celle utilisée pour la source de solitons. La simulation d'une liaison très longue distance a été faite 15 sur une boucle de fibre de 500 km, avec un amplificateur optique à fibre dopée Erbium tous les 50 km et une régénération à chaque tour de la boucle. A cause de la dispersion de la fibre de transmission soliton, qui varie entre -0.7 à -2.2 ps/km/nm, avec une moyenne de -1.5 ps/km/nm, le temps de trajet pour faire un tour de la boucle 20 dépend de la longueur d'onde du soliton. Pour cette raison, un tel système est incompatible avec une transmission WDM, comme souligné dans le document EP-A-0 576 208 évoqué plus haut (cf. page 2, lignes 21-24.).

25 D'autres documents de l'état de la technique se rapportent aux liaisons optiques de type WDM.

Par exemple, le document Journal of Lightwave Tech., 9(3), pp. 362-367, March 1991, L.F. Mollenauer et al. : "Wavelength Division Multiplexing with Solitons in Ultra-Long Distance Transmission Using Lumped Amplifiers" propose 30 un système de transmission de solitons WDM avec amplification optique périodique, pour des distances transocéaniques (9000 km). L'enseignement de ce document concerne principalement les collisions entre des solitons ayant des longueurs d'onde différentes. Ce document donne 35 des valeurs typiques de différents paramètres pour une telle liaison afin de limiter la gigue de Gordon-Haus introduite

par interaction entre les canaux adjacents. Toutefois, dans tous les cas considérés dans ce document, la synchronicité de l'arrivée des solitons à la fin de la liaison n'est ni prévue, ni requise.

5 Les différents aspects de la gestion des dispersions dans des systèmes WDM non régénérés est également considéré dans le document Proc. Int'l. Symposium on physics and applications of Optical Solitons in fibers, Kyoto, Japan, pp. 1-12, Nov. 14-17, 1995, S. Kumar et al. : "Dispersion 10 managements on soliton transmission in fibers with lumped amplifiers" (cf. dernier chapitre de ce document).

Ainsi, à la lecture des documents de l'art antérieur, on constate que liaisons optiques à plusieurs canaux multiplexés en longueur d'onde (WDM) ne permettent pas une 15 régénération des solitons puisqu'il n'y a pas de synchronicité entre les canaux. La question de la régénération synchrone est donc, dans cette optique, sans objet.

20 Pour cette raison, il n'apparaît pas possible, d'après les préjugés bien établis de l'homme de l'art, d'envisager des liaisons optiques WDM très haut débit, très longues distances, via solitons multiplexés en longueur d'onde et avec régénération pour éliminer la gigue Gordon-Haus et pour garder la forme spectrale optimale des solitons.

25 L'invention a pour but de pallier les inconvénients de l'art antérieur.

A cette fin, l'invention a pour objet un dispositif de 30 régénération d'un signal optique ayant la forme d'un train de bits représentés par des solitons définis notamment par une longueur d'onde de propagation et un rythme de bits, ledit dispositif comprenant un circuit de récupération d'horloge pour extraire un signal d'horloge dudit signal optique, un modulateur optique pour régénérer lesdits solitons et un filtre spectral et étant caractérisé en ce 35 qu'il comporte en amont du modulateur un moyen de synchronisation pour des solitons émis sur n ($n > 1$) canaux

ayant des longueurs d'onde respectives différentes, lesdits canaux et lesdites longueurs d'onde différentes étant associés à des temps de groupe différents, ledit moyen de synchronisation comportant m ($1 \leq m < n$) lignes à retard optiques, le retard τ_i ($1 \leq i \leq m$) pour la ligne i étant choisi de manière à compenser les différences entre les temps de groupe associés aux différents canaux.

Selon un mode de réalisation avantageux, le moyen de synchronisation comporte m lignes à retard optiques, avec $m < n$, le retard τ_i ($1 \leq i < m$) pour le canal i étant choisi de manière à compenser les différences de temps de groupe entre m canaux, et au moins une ligne sans retard optique pour les $n-m$ autres canaux.

En particulier, le moyen de synchronisation peut comprendre une seule ligne sans retard optique, ladite ligne sans retard optique étant conçue pour recevoir des solitons multiplexés émis par une pluralité de canaux.

Selon un premier mode de réalisation, actuellement préféré, le moyen de synchronisation comprend une ligne optique équipée d'une pluralité de filtres photoréfractifs en série, la fréquence de chaque filtre étant associée à celle d'un canal et la position respective de chaque filtre i ($1 \leq i \leq m$) étant choisie de manière à produire ledit retard τ_i pour les solitons émis sur le canal i ; et un moyen de contrôle pour émettre vers ladite ligne optique les solitons reçus par le moyen de synchronisation et vers un port de sortie du moyen de synchronisation les solitons réfléchis par les filtres de ladite ligne optique; et un coupleur optique pour transmettre les solitons émis sur les canaux qui ne sont pas associés à un filtre vers le port de sortie du moyen de synchronisation. Dans ce mode de réalisation, le moyen de contrôle est avantageusement un circulateur optique à trois ports.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, le moyen de synchronisation comprend un démultiplexeur; un ensemble de m lignes en parallèle comportant chacune un

tronçon de ligne à retard optique; un multiplexeur; au moins une ligne sans retard optique disposée entre le démultiplexeur et le multiplexeur.

Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, 5 le moyen de synchronisation comprend un diviseur; un ensemble de m lignes en parallèle comportant chacune un filtre pour sélectionner un canal et un tronçon de ligne à retard optique; un concentrateur; et au moins une ligne sans retard optique entre le diviseur et le concentrateur, ladite 10 ligne sans retard comprenant un filtre pour sélectionner au moins un canal.

L'invention a également pour objet un système de transmission optique de signaux ayant chacun la forme d'un train de bits représentés par des solitons, qui sont définis 15 notamment par une longueur d'onde de propagation et un rythme de bits, ledit système de transmission comprenant au moins un émetteur et un récepteur reliés par une fibre optique, ledit système comprenant au moins un dispositif de régénération optique selon l'invention.

20 Avantageusement, dans le cas d'un tel système de transmission optique, chaque dispositif de régénération est placé à une distance Z_R , après ledit émetteur ou le dispositif de régénération qui le précède, choisie telle que son produit avec la différence de temps d'arrivée $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_1) - \tau_g(\lambda_t)$ satisfasse la condition 25

$$[kT - T/a] < \delta\tau_g Z_R < [kT + T/a]$$

où k est entier, $a \geq 4$, T est le temps bit (pour Z_R en km, 30 $\delta\tau_g$ en $\text{ps} \cdot \text{km}^{-1}$), et λ_1 et λ_t sont les extrémités de la bande spectrale définie par ledit sous-ensemble de $n-m$ canaux.

De manière particulièrement avantageuse, le circuit de récupération d'horloge extrait du signal optique un signal de longueur d'onde λ_k comprise entre les longueurs d'onde λ_1 35 et λ_t ; tel que $\tau_g(\lambda_k) \cdot Z_R = kT$.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description, qui va suivre, de modes de réalisation donnés à titre illustratif, mais non limitatif, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

5 - la figure 1 illustre schématiquement un système de transmission optique sur fibre optique selon l'invention,

- la figure 2 montre schématiquement un dispositif de régénération selon l'invention,

- la figure 3 illustre un premier mode de réalisation 10 du moyen de synchronisation selon l'invention, conçu pour resynchroniser les solitons émis par les n canaux d'une liaison WDM à n canaux

- la figure 4 illustre un deuxième mode de réalisation 15 du moyen de synchronisation selon l'invention, conçu pour resynchroniser les solitons émis par les n canaux d'une liaison WDM à n canaux, et

- la figure 5 illustre un troisième mode de réalisation 20 du moyen de synchronisation selon l'invention, conçu pour resynchroniser les solitons émis par les n canaux d'une liaison WDM à n canaux.

Sur toutes les figures, les mêmes références numériques se réfèrent aux mêmes éléments, et l'échelle n'est pas toujours respectée pour des raisons de clarté.

Une solution pour résoudre le problème de la 25 synchronicité de solitons émis sur différents canaux est décrite dans la demande de brevet français n°9600732 déposée le 23/01/1996 au nom de Alcatel Submarine Networks et intitulée "Méthode et dispositif de régénération en ligne 30 d'un signal transmis par solitons multiplexés en longueur d'onde via la modulation synchrone et système de télécommunications optiques utilisant la méthode", dont le contenu est incorporé par référence.

On résume ci-après le principe de synchronisation 35 développé dans cette demande de brevet antérieure, dans la mesure nécessaire à la compréhension de la présente

invnetion. Le lecteur est invité à se référer à cette demande de brevet antérieure pour de plus amples détails.

Dans cette demande de brevet antérieure, il est proposé de tenir compte de la longueur du chemin optique parcouru par les solitons en fonction de leurs longueurs d'onde, de manière à ce que les solitons soit synchronisés, au moins approximativement, à l'endroit même où est positionné le modulateur.

En effet, il est remarqué que les signaux de solitons émis sur les différents canaux, bien que désynchronisés par la dispersion chromatique lors de leur propagation sur la fibre optique, comportent tous des signaux périodiques, avec des rythmes bit identiques à l'émission. Il en résulte des "collisions" entre des solitons de canaux voisins le long de la ligne de transmission (voir description théorique dans l'article de Mollenauer et al. déjà cité). De ce fait, et tenant compte des décalages fréquentiels entre les différents canaux, tous les canaux se retrouveront synchronisés entre eux à certains points espacés régulièrement le long de la ligne. Il est alors proposé de calculer cet espace et de placer les régénérateurs à l'un de ces points de synchronisation, afin d'effectuer la modulation synchrone avec un seul modulateur et sans démultiplexage.

Par exemple, pour deux canaux transmis à λ_1 et λ_2 , avec λ_0 la longueur d'onde de dispersion nulle, et $Dl = \lambda_2 - \lambda_1$, la différence de temps d'arrivée au modulateur résulte de la différence de temps de groupe $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_2) - \tau_g(\lambda_1)$,

$$30 \quad \delta\tau_g = \frac{1}{2} \left(\frac{dD}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \left\{ (\lambda_2 - \lambda_0)^2 - (\lambda_1 - \lambda_0)^2 \right\} = \frac{1}{2} \left(\frac{dD}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \left\{ \Delta\lambda^2 + 2\Delta\lambda(\lambda_1 - \lambda_0) \right\} (ps.km^{-1})$$

dans le cas où la pente $(dD/d\lambda)_{\lambda_0}$ est non nulle, et dans le cas contraire $\delta\tau_g = D \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)$.

La méthode proposée consiste ainsi à utiliser un seul modulateur synchrone pour tous les canaux WDM, en choisissant soigneusement la distance entre l'émetteur et le

premier modulateur, ou entre modulateurs successifs, par rapport à l'espacement des canaux et la dispersion chromatique de la fibre, afin de retrouver tous les canaux synchronisés lors du passage dans chaque modulateur. En 5 pratique, la distance Z_R entre modulateurs sera choisie telle que la différence de temps de groupe $\delta\tau_g$ satisfasse la condition

$$\left[kT - \frac{T}{a} \right] < \delta\tau_g Z_R < \left[kT + \frac{T}{a} \right]$$

10

où k est entier, $a \geq 4$, et T est le temps bit (pour Z_R en km, $\delta\tau_g$ en ps.km⁻¹). Cette contrainte permet d'obtenir une synchronisation approximative entre les deux canaux WDM ayant les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . Une synchronisation 15 meilleure peut être obtenue en réduisant la largeur de la fenêtre temporelle (c'est-à-dire en augmentant a), jusqu'à obtenir le degré de synchronisation voulu.

La technique proposée dans cette demande de brevet antérieure est mise en oeuvre dans le cadre de la présente 20 invention. Plus précisément, dans le cas d'un système de transmission à n canaux WDM, on prévoit de placer un modulateur à l'endroit où un sous-ensemble de $n-m$ ($m < n$) canaux sont naturellement synchronisés, selon la technique décrite dans la demande de brevet antérieure, et de 25 synchroniser les m canaux restants sur ce sous-ensemble de canaux.

Cette combinaison de deux techniques de synchronisation présente des avantages évidents : la 30 contrainte sur la position du modulateur est moins forte que dans le cas de la demande de brevet antérieure puisqu'il n'est plus requis que tous les canaux soient naturellement synchronisés (lorsque le nombre de canaux WDM augmente, la distance Z_R entre les deux points successifs où tous les canaux sont naturellement synchronisés augmente; par suite 35 de l'atténuation, la dispersion, etc ... des signaux

augmentent) et le moyen de synchronisation est plus simple puisqu'il ne doit traiter qu'une partie des canaux.

La figure 1 montre schématiquement un exemple d'un système de transmissions optiques sur fibre optique apte à transmettre et régénérer un signal optique WDM formé de solitons. Ce système comprend une fibre optique F, un émetteur optique E, au moins un dispositif de régénération RG, une pluralité d'amplificateurs optiques de ligne G₁, G₂ ... G_k ..., une pluralité de filtres cannelés FC₁, FC₂ ... FC_k ..., et un récepteur optique R. L'émetteur optique E comprend une pluralité de sources optiques aptes à émettre des solitons ayant des fréquences respectives λ_1 , λ_2 , ... λ_n et un multiplexeur M pour introduire lesdits solitons sur la fibre optique F. De manière symétrique, le récepteur comprend un démultiplexeur D et une pluralité de détecteurs optiques aptes à recevoir respectivement les solitons ayant des fréquences λ_1 , λ_2 , ... λ_n . Les amplificateurs optiques sont répartis, de préférence de manière régulière, le long de la ligne pour compenser les atténuations subies par les solitons. Ces amplificateurs optiques peuvent, de façon classique, être de type EDFA (pour Erbium Doped Fibre Amplifier). Les filtres cannelés FC₁, FC₂ ... FC_k ... sont disposés en aval des amplificateurs optiques G₁, G₂, ...; ils réduisent la largeur temporelle des solitons et, par là même la gigue temporelle. Par filtre cannelé, on entend un filtre passe-bande qui laisse passer une pluralité des bandes étroites ayant des fréquences centrales différentes, correspondant aux longueurs d'ondes des différents canaux du système WDM multiplexé en longueur d'onde.

Un système de transmission optique tel que représenté sur la figure 1, mais dépourvu de dispositifs de régénération en ligne, fait partie de l'état de la technique; cf. l'article de L.F. Mollenauer et al. cité plus haut.

La présente invention tient précisément dans le fait de régénérer en ligne un signal optique de type soliton WDM.

La figure 2 illustre schématiquement un dispositif de régénération selon l'invention.

Ce dispositif de régénération RG comprend un moyen de synchronisation 2 et un modulateur 4. Le modulateur 4 est un 5 modulateur connu, et utilisé pour régénérer un signal de type soliton à fréquence unique, c'est-à-dire non-WDM. Un tel modulateur est décrit notamment dans l'article de Nakazawa et al. cité plus haut. Il comprend un modulateur optique MOD, par exemple de type LiNO₃, pour effectuer la 10 modulation synchrone des solitons, qui est commandé par un signal électronique de commande produit par un circuit d'horloge à partir du signal de solitons en ligne. Les moyens de récupération d'horloge comprennent un coupleur optique C3 pour l'extraction d'une partie du signal optique, 15 un circuit d'extraction d'horloge CLKX, une ligne à retard pour fournir un délai DEL, et un amplificateur GM pour fournir la puissance de commande nécessaire pour faire fonctionner le modulateur MOD en LiNO₃.

Le moyen de modulation peut comprendre des dispositifs 20 de contrôle de polarisation biréfringents PC. De tels dispositifs peuvent également être prévus après les filtres cannelés (figure 1).

Pour permettre la modulation synchrone simultanée 25 d'une pluralité de signaux soliton multiplexés en longueur d'onde, donc ayant des longueurs d'onde différentes, des vitesses de groupe différentes, et donc des temps de trajet différents, il faut que les solitons émis dans les différents canaux soient synchrones.

Différents modes de réalisation d'un dispositif de 30 régénération conforme à l'invention vont maintenant être décrits.

Un moyen de synchronisation actuellement préféré est 35 représenté schématiquement sur la figure 3. Il comprend un circulateur optique 6 à trois ports P1, P2, P3, une ligne optique comportant une fibre optique 8 et m filtres photoréfractifs FPR1, FPR2, ... FPRm réfléchissants

respectivement à $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ($m < n$), et un coupleur optique 20 destiné à transmettre les solitons émis sur les $n-m$ autres canaux, et qui ne sont pas réfléchis par les filtres photoréfractifs, vers le port de sortie du moyen de 5 synchronisation. Le circulateur optique est conçu pour transmettre un signal reçu sur son port P1 vers son port P2, et un signal reçu sur son port P2 vers son port P3. Les ports P1 et P3 forment respectivement les entrée et sortie du moyen de synchronisation 2. On comprend donc que le 10 signal soliton émis dans le canal de fréquence λ_i ($1 \leq i \leq n$) arrive sur le port P1, est transmis vers le port P2, parcourt la fibre 8 jusqu'au filtre FPRi, où il est réfléchi vers le circulateur 6, et est finalement transmis vers le port P3. La position relative des filtres photoréflecteurs 15 est choisie de manière à compenser les retards entre les signaux des canaux 1 à m par rapport aux signaux des canaux $m+1$ à n , ces derniers étant naturellement synchronisés (le modulateur est placé à l'endroit où ces canaux sont synchrones). Ce retard peut être déterminé de la manière 20 suivante.

Pour chaque canal (longueur d'onde λ), le temps de groupe (par km) est donné par la relation :

$$\tau_g(\lambda) = \tau_g(\lambda_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{dD}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} (\lambda - \lambda_0)^2$$

où D est la dispersion moyenne de la fibre de transmission 25 et λ_0 la longueur d'onde de dispersion nulle. A l'entrée du régénérateur, la différence des temps de groupe $\delta\tau_{k1} = \tau_g(\lambda_k) - \tau_g(\lambda_n)$ entre le canal "n" pris comme référence et le canal "k" est donc donnée par :

$$30 \quad \delta\tau_{k1} = \tau_g(\lambda_k) - \tau_g(\lambda_n) = \frac{1}{2} \left(\frac{dD}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \{ (\lambda_k - \lambda_0)^2 - (\lambda_n - \lambda_0)^2 \} = \frac{1}{2} \left(\frac{dD}{d\lambda} \right)_{\lambda_0} \{ \Delta\lambda_{k1}^2 + 2\Delta\lambda_{k1}(\lambda_n - \lambda_0) \}$$

avec $\Delta\lambda_{k1} = \lambda_k - \lambda_n$.

Les deux relations précédentes concernent le cas où la pente de dispersion $(dD/d\lambda)_{\lambda_0}$ est non nulle. Il est possible,

voire avantageux, cependant, de réaliser un système où la pente de dispersion est périodiquement corrigée (compensée) par insertion de courts tronçons de fibre de caractéristiques opposées, ou bien de réaliser une fibre de transmission à pente nulle ou aplatie. Que le système soit à pente de dispersion compensée ou effectivement nulle, le temps de groupe (par km) est alors donné par la relation :

$$\tau_g(\lambda) = \tau_g(\lambda_n) + D(\lambda - \lambda_n)$$

où D est la dispersion (constante) dans l'intervalle spectral $\{\lambda_n \dots \lambda\}$. La différence de temps de groupe $\delta\tau_{k1} = \tau_g(\lambda_k) - \tau_g(\lambda_n)$ est donnée par la relation $\delta\tau_{k1} = D\Delta\lambda_{k1}$

Si T_{bit} représente le temps bit (ou la période de modulation synchrone), on peut définir un nombre N_{k1} (pour $k=1 \dots n$) comme étant le nombre entier vérifiant la relation pour le canal k : $N_{k1} T_{bit} \leq \delta\tau \leq (N_{k1}+1) T_{bit}$, soit $N_{k1} = E(\delta\tau_{k1}/T_{bit})$ où $E(x)$ représente la partie entière de l'argument x . L'entier N_{k1} représente le nombre de temps bit maximum inclus dans le retard entre le canal n et le canal k . En fait, la quantité qui importe n'est pas le retard accumulé entre deux bits individuels appartenant aux canaux n et k , mais plutôt le retard relatif entre les fenêtres temporelles correspondantes. L'avance de la fenêtre k sur la fenêtre n est ainsi donnée par $\Delta\tau_{k1}(\text{avance}) = \delta\tau_{k1} - N_{k1} T_{bit}$ et le retard de la fenêtre k sur la fenêtre n par :

25

$$\Delta\tau_{k1}(\text{retard}) = T_{bit} - \Delta\tau_{k1}(\text{avance}) = (N_{k1}+1) T_{bit} - \delta\tau_{k1} = \left\{ 1 - \left[\frac{\delta\tau_{k1}}{T_{bit}} - E\left(\frac{\delta\tau_{k1}}{T_{bit}}\right) \right] \right\}$$

Notons que pour des considérations pratiques, on peut rajouter à ce retard une quantité supplémentaire égale à un nombre entier de temps bit T_{bit} . Quand le retard est introduit dans chaque canal, tous les signaux se retrouvent synchrones en entrée du modulateur.

Les filtres photoréfractifs sont avantageusement réalisés sous forme de filtres de BRAGG photoinscrits directement sur la fibre. Ils offrent l'avantage d'un taux

d'extinction élevé et permettent de définir de manière très précise le retard de chaque canal.

Un autre mode de réalisation du moyen de synchronisation est représenté sur la figure 4. Il comprend 5 un démultiplexeur 22 à une entrée et $m+1$ sorties, un ensemble de $m+1$ lignes en parallèle, et un multiplexeur 24 à $m+1$ entrées et une sortie. Parmi l'ensemble de lignes en parallèle, une ligne 26 associée à tous les canaux naturellement synchronisés ne comporte pas de ligne à retard 10 optique, et les m autres lignes sont associées chacune à l'un des autres canaux et comportent chacune une ligne à retard optique τ_i ($1 \leq i \leq m$) introduit un retard optique tel que l'ensemble des n canaux soient synchronisés en sortie du moyen de synchronisation.

15 Une autre variante de réalisation du moyen de synchronisation est représenté sur la figure 5. Il comprend un répartiteur 28 à une entrée et $m+1$ sorties, un ensemble de $m+1$ lignes en parallèle, et un concentrateur 30 à $m+1$ entrées et une sortie. Parmi l'ensemble de lignes en 20 parallèle, une ligne 32 est associée à tous les canaux naturellement synchronisés et comporte un filtre cannelé 34 correspondant à ces canaux, et un ensemble de m lignes qui sont chacune associées à un canal et qui comportent chacune une ligne à retard optique tel que l'ensemble des n canaux 25 soient synchronisés en sortie du moyen de synchronisation. Ainsi le filtre $16i$ ($1 \leq i \leq m$) de la ligne i et le retard τ_i introduit par la portion de ligne à retard de la ligne i sont choisis respectivement pour laisser passer les solitons émis sur le canal i et pour retarder lesdits solitons d'un 30 retard τ_i tel que les solitons transmis sur la ligne i soient synchrones en sortie du concentrateur avec les solitons transmis sur la ligne 32.

Le moyen de synchronisation représenté sur la figure 5 présente une meilleure extinction des canaux adjacents, par 35 rapport au moyen de réalisation représenté sur la figure 4, mais ceci au prix d'une perte d'insertion augmentant en n^2 .

Cette perte d'insertion reste cependant raisonnable, lorsque le nombre n de canaux est petit. Dans le cas d'une transmission à multiplexage en fréquence sur $n=2$ ou 3 canaux, le mode de réalisation de la figure 5 est 5 actuellement préféré au mode de réalisation de la figure 4.

D'autres moyens de synchronisation que ceux décrits en référence aux figures 3 à 5 sont connus et peuvent être utilisés dans le cadre de la présente invention. Par exemple, un retard sélectif par canal peut être obtenu en 10 utilisant une fibre optique à compensation de dispersion ou une fibre optique comportant un filtre photoréfractif chirpé (le terme "chirpé", bien connu de l'homme du métier, dérive du terme anglo-saxon "chirp" utilisé pour désigner un milieu de transmission dans lequel les basses fréquences se 15 propagent plus vite que les hautes fréquences).

En ce qui concerne le coupleur optique utilisé pour récupérer le signal d'horloge, il convient de noter qu'il peut être placé sur la ligne de transmission, comme représenté sur la figure 2, mais qu'il pourrait aussi être 20 placé sur la fibre optique 8 (figure 3), ou sur l'une des $m+1$ lignes parallèles (figure 4) ou (figure 5), ou en un autre point du moyen de synchronisation.

L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation représentés, mais englobe au contraire les moyens 25 équivalents à ceux décrits et tous les modes de réalisation qui sont conformes aux revendications annexées.

Revendications

1/ Dispositif de régénération d'un signal optique ayant la forme d'un train de bits représentés par des solitons
5 définis notamment par une longueur d'onde de propagation et un rythme de bits, ledit dispositif comprenant un circuit de récupération d'horloge (C3, CLKX) pour extraire un signal d'horloge dudit signal optique et un modulateur optique (MOD) pour régénérer lesdits solitons, et étant caractérisé
10 en ce qu'il comporte en amont du modulateur un moyen de synchronisation (2) pour des solitons émis sur n ($n > 1$) canaux ayant des longueurs d'onde respectives différentes, lesdits canaux et lesdites longueurs d'onde différentes étant associés à des temps de groupe différents, ledit moyen
15 de synchronisation comportant m ($1 \leq m < n$) lignes à retard optiques, le retard τ_i ($1 \leq i \leq m$) pour la ligne i étant choisi de manière à compenser les différences entre les temps de groupe associés aux différents canaux.

20 2/ Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que le moyen de synchronisation comporte m lignes à retard optiques, avec $m < n$, le retard τ_i ($1 \leq i \leq m$) pour le canal i étant choisi de manière à compenser les différences de temps de groupe entre m canaux, et au moins une ligne sans retard optique pour les $n-m$ autres canaux.

30 3/ Dispositif selon la revendication 2 caractérisé en ce que le moyen de synchronisation comprend une seule ligne sans retard optique (26, ;32), ladite ligne sans retard optique étant conçue pour recevoir des solitons multiplexés émis par une pluralité de canaux.

35 4/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 2 caractérisé en ce que le moyen de synchronisation comprend une ligne optique (8) équipée de m filtres photoréfractifs en série (FPR1, FPR2, ...FPRm), la fréquence de chaque filtre

étant associée à celle d'un canal et la position respective de chaque filtre i ($1 \leq i \leq m$) étant choisie de manière à produire ledit retard τ_i pour les solitons émis sur le canal i ; un moyen de contrôle (6) pour émettre vers ladite ligne optique les solitons reçus par le moyen de synchronisation et vers un port de sortie du moyen de synchronisation les solitons réfléchis par les filtres de ladite ligne optique; et un coupleur optique (20) pour transmettre les solitons émis sur les $n-m$ canaux qui ne sont pas associés à un filtre vers le port de sortie du moyen de synchronisation.

5 5/ Dispositif selon la revendication 6 caractérisé en ce que ledit moyen de contrôle (6) est un circulateur optique à trois ports.

15

6/ Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le moyen de synchronisation comprend un démultiplexeur (22), un ensemble de m lignes en parallèle comportant chacune un tronçon de ligne à retard optique, un multiplexeur (24), et au moins une ligne sans retard optique (26) disposée entre le démultiplexeur et le multiplexeur.

7/ Dispositif selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que le moyen de synchronisation comprend un diviseur (28); un ensemble de m lignes en parallèle comportant chacune un filtre ($16_1, \dots, 16_m$) pour sélectionner un canal et un tronçon de ligne à retard optique; un concentrateur (30); et au moins une ligne sans retard optique (32) entre le diviseur (28) et le concentrateur (30), ladite ligne sans retard comprenant un filtre (34) pour sélectionner au moins un canal.

8/ Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce qu'il comprend un filtre cannelé (F_{CK}) en 35 sortie du modulateur synchrone (MOD).

9/ Système de transmission optique de signaux ayant chacun la forme d'un train de bits représentés par des solitons, qui sont définis notamment par une longueur d'onde de propagation et un rythme de bits, ledit système de 5 transmission comprenant au moins un émetteur (E) et un récepteur (R) reliés par une fibre optique (F), ledit système étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif de régénération optique selon l'une des revendications 1 à 8.

10

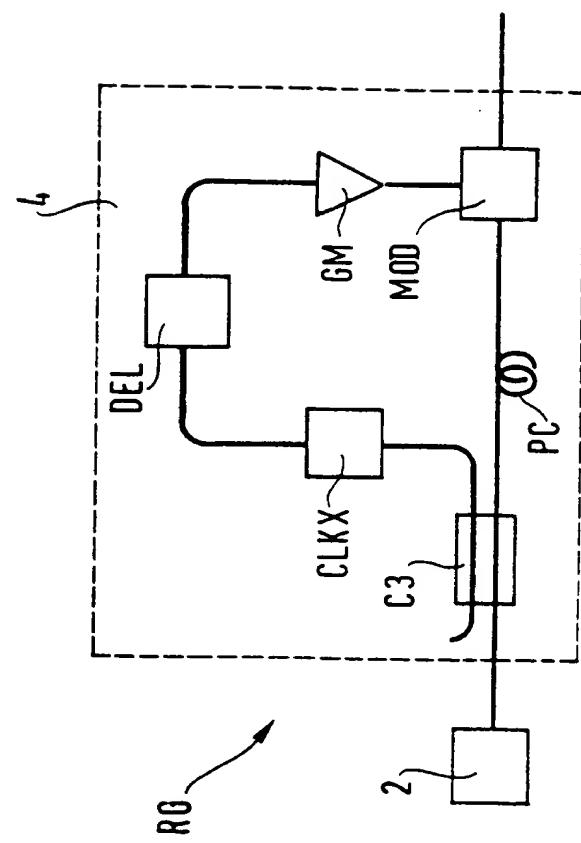
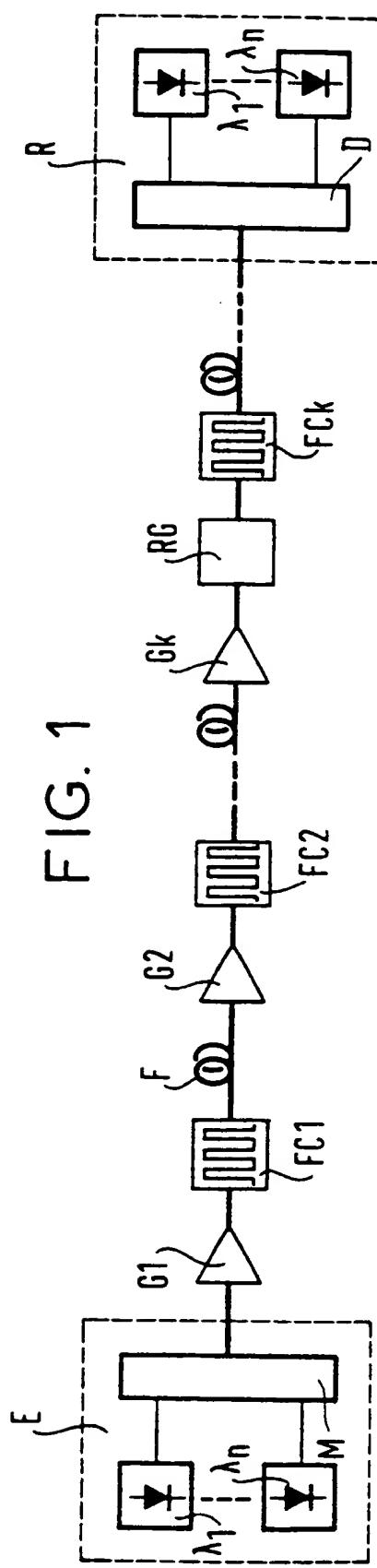
10/ Système selon la revendication 9 caractérisé en ce que chaque dispositif de régénération est disposé à une distance Z_R , après ledit émetteur ou le dispositif de régénération qui le précède, choisie telle que son produit avec la 15 différence de temps d'arrivée $\delta\tau_g = \tau_g(\lambda_1) - \tau_g(\lambda_t)$ satisfasse la condition

$$\left[kT - \frac{T}{a} \right] < \delta\tau_g \cdot Z_R < \left[kT + \frac{T}{a} \right]$$

où k est entier, $a \geq 4$, T est le temps bit (pour Z_R en km, $\delta\tau_g$ en ps.km⁻¹), et λ_1 et λ_t sont les extrémités de la bande spectrale définie par ledit sous-ensemble de n-m canaux.

11/ Système selon la revendication 10 caractérisé par un circuit de récupération d'horloge qui extrait du signal optique un signal de longueur d'onde λ_k comprise entre les longueurs d'onde λ_1 et λ_t ; tel que $\tau_g(\lambda_k) \cdot Z_R = kT$.

1/2



2/2

FIG. 3

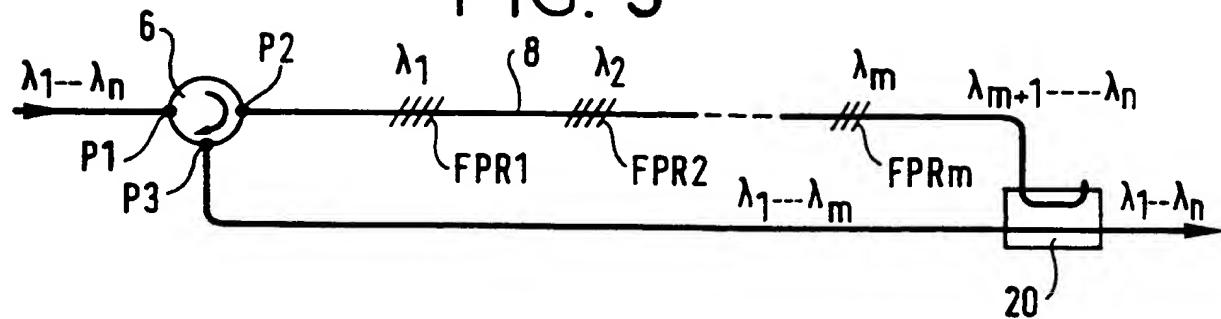


FIG. 4

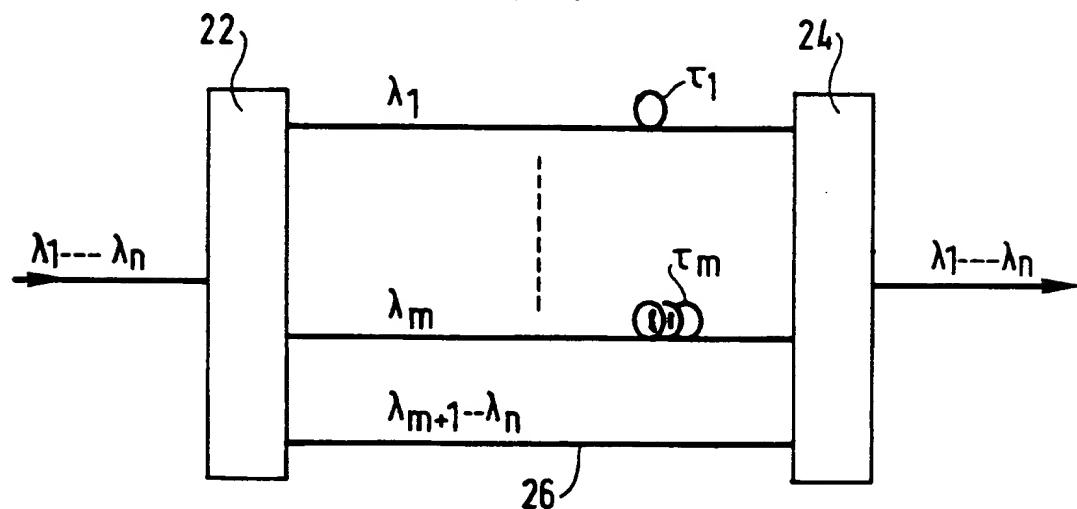
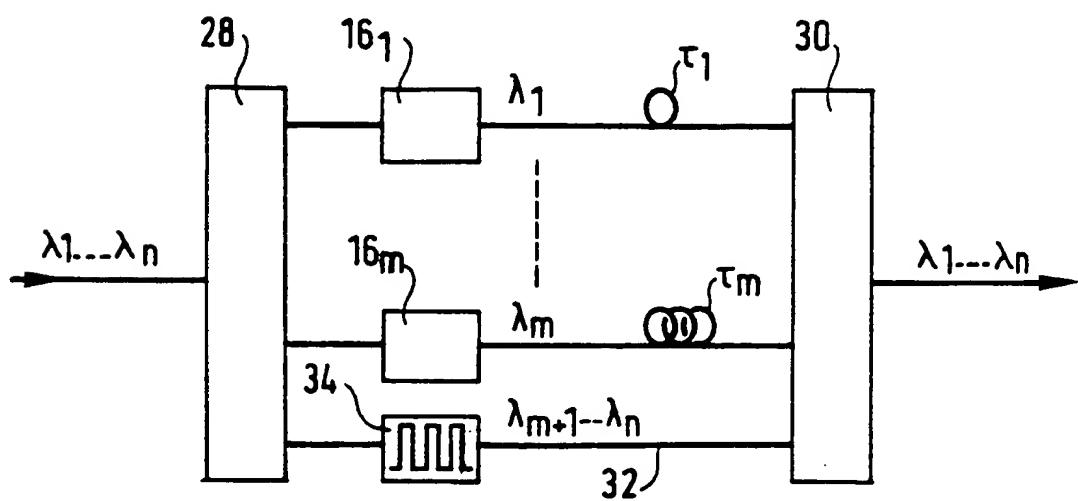


FIG. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 98/00258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H04B10/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H04B G02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 097, no. 003, 31 March 1997 & JP 08 286218 A (NIPPON TELEGR & AMP; TELEPH CORP & LT; NTT & GT), 1 November 1996, A see abstract; figures 1-3 ---	1-9
A	NAKAZAWA M ET AL: "40GBIT/S WDM (10GBIT/S X 4 UNEQUALLY SPACED CHANNELS) SOLITON TRANSMISSION OVER 10000KM USING SYNCHRONOUS MODULATION AND NARROW BAND OPTICAL FILTERING" ELECTRONICS LETTERS, vol. 32, no. 9, 25 April 1996, pages 828-830, XP000595674 see page 829, column 1 - column 2, line 5 ---	10
A	---	1
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

2

Date of the actual completion of the international search

20 May 1998

Date of mailing of the international search report

19/06/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Chauvet, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte
onal Application No
PCT/FR 98/00258

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 576 208 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 29 December 1993 cited in the application *abstract* see page 2, line 8 - line 14 see page 2, line 41 - line 54 see page 3, line 25 - line 35 see page 10, line 13 - line 19 ----	1
A	NAKAZAWA M: "10 GBIT/S SOLITON DATA TRANSMISSION OVER ONE MILLION KILOMETRES" ELECTRONICS LETTERS, vol. 27, no. 14, 4 July 1991, pages 1270-1272, XP000240658 cited in the application *abstract* see page 1270, column 2, line 14 - page 1271, column 1, line 3 ----	1
A	LECLERC O ET AL: "ASSESSMENT OF 80GBIT/S (4X20GBIT/S) REGENERATED WDM SOLITON TRANSOCEANIC TRANSMISSION" ELECTRONICS LETTERS, vol. 32, no. 12, 6 June 1996, page 1118/1119 XP000620711 see page 1118, column 1 - column 2, line 1 ----	10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inte: National Application No
PCT/FR 98/00258

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0576208 A	29-12-93	US 5357364 A JP 6104844 A US 5463489 A	18-10-94 15-04-94 31-10-95

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der e Internationale No
PCT/FR 98/00258

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 HO4B10/18

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 6 HO4B G02F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Categorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 097, no. 003, 31 mars 1997 & JP 08 286218 A (NIPPON TELEGR & AMP; TELEPH CORP & LT; NTT & GT), 1 novembre 1996, voir abrégé; figures 1-3 ----	1-9
A	NAKAZAWA M ET AL: "40GBIT/S WDM (10GBIT/S X 4 UNEQUALLY SPACED CHANNELS) SOLITON TRANSMISSION OVER 10000KM USING SYNCHRONOUS MODULATION AND NARROW BAND OPTICAL FILTERING" ELECTRONICS LETTERS, vol. 32, no. 9, 25 avril 1996, pages 828-830, XP000595674 Voir page 829, colonne 1 - colonne 2, ligne 5 ----	10
A	----	1
	----	-/-

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

Catégories spéciales de documents cités:

- 'A' document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- 'E' document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- 'L' document pouvant poser un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- 'O' document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- 'P' document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- 'T' document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- 'X' document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- 'Y' document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- 'S' document qui fait partie de la même famille de brevets

2

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

20 mai 1998

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

19/06/1998

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Chauvet, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Document International No
PCT/FR 98/00258

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 0 576 208 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 29 décembre 1993 cité dans la demande * abrégé * voir page 2, ligne 8 - ligne 14 voir page 2, ligne 41 - ligne 54 voir page 3, ligne 25 - ligne 35 voir page 10, ligne 13 - ligne 19 ----</p>	1
A	<p>NAKAZAWA M: "10 GBIT/S SOLITON DATA TRANSMISSION OVER ONE MILLION KILOMETRES" ELECTRONICS LETTERS, vol. 27, no. 14, 4 juillet 1991, pages 1270-1272, XP000240658 cité dans la demande * abrégé * voir page 1270, colonne 2, ligne 14 - page 1271, colonne 1, ligne 3 ----</p>	1
A	<p>LECLERC O ET AL: "ASSESSMENT OF 80GBIT/S (4X20GBIT/S) REGENERATED WDM SOLITON TRANSOCEANIC TRANSMISSION" ELECTRONICS LETTERS, vol. 32, no. 12, 6 juin 1996, page 1118/1119 XP000620711 voir page 1118, colonne 1 - colonne 2, ligne 1 -----</p>	10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Der e Internationale No
PCT/FR 98/00258

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0576208 A	29-12-93	US 5357364 A JP 6104844 A US 5463489 A	18-10-94 15-04-94 31-10-95
<hr/>			

THIS PAGE BLANK (USPTO)